



**Resúmenes de las actas del
XVIII SEMINARIO ANUAL
DE AUTOMÁTICA,
ELECTRÓNICA INDUSTRIAL
E INSTRUMENTACIÓN**



Resúmenes de las actas del XVIII Seminario Anual de Automática, Electrónica Industrial e Instrumentación

Editado por:

Teodoro Aguilera
Fernando Álvarez
Fermín Barrero
Juan Manuel Carrillo
Miguel Ángel Domínguez
Javier Gallardo
Eva González
Pedro González
Miguel Ángel Guerrero
Miguel Ángel Jaramillo

Ana León
Jesús Lozano
Pilar Merchán
María Isabel Milanés
Víctor Miñambres
Raquel Pérez-Aloe
Enrique Romero
Carlos Roncero
Santiago Salamanca

Badajoz, de 5 a 8 de julio de 2011

© Los Autores, 2011

ISBN: 978-84-933682-3-4

Viernes, 8 de Julio de 2011			
8:00			9:00
9:00			9:30
10:00	Sesión 18 - Salón de Grados TCP4 - Técnicas de Control de Potencia IV	Sesión 17 – Aula 1.3 TCC3 - Técnicas de Control en Convertidores de Potencia III	10:00
10:30			10:30
11:00			11:00
11:30	CAFÉ <small>Paño frente a salón de actos</small>		11:30
12:00	Sesión 19 - Salón de Grados TCP5 - Técnicas de Control de Potencia V	Sesión 20 – Aula 1.3 TCC4 - Técnicas de Control en Convertidores de Potencia IV	12:00
12:30		Sesión 21 – Aula 1.4 ARE3 – Aplicaciones de Electrónica y Control en Redes de Energía Eléctrica III	12:30
13:00	Plenaria III Mesa Redonda IEEE SALÓN DE ACTOS		13:00
13:30	Acto de clausura SALÓN DE ACTOS		13:30
14:00	Comida <small>Restaurante "Hotel las Bovedas"</small>		14:00
14:30			14:30
15:00			15:00
15:30			15:30
16:00			16:00
16:30			16:30
17:00			17:00
17:30			17:30
18:00			18:00
18:30			18:30
19:00			19:00
19:30			19:30
20:00			20:00
20:30			20:30
21:00	Invitación a Teatro de Mérida <small>Salida de Mérida (19:30) Tiempo libre para visita de Mérida (20:30-21:00) Representación de la obra "INTOCABLE DE MÉRIDA" (21:00-21:30) Llegada a Hotel en Badajoz (22:00)</small>		21:00
21:30			21:30

10:00 – 11:00 **Viernes 8 de julio de 2011****TCP4 - Técnicas de Conversión de Potencia IV****Lugar:** Salón de Grados**Moderador:** Dra. Pilar Molina Gaudó**10:00 – 10:15 Amplificador de envolvente de señales de RF basado en el convertidor buck multifase**

TCP4 – 1 Moisés Patiño-Gómez (Universidad Politécnica de Madrid), David Tena-Ramos, Francisco Javier Ortega-González, José Manuel Pardo-Martín, Cesar Benavente-Peces

Resumen: En este trabajo se presenta un convertidor DC-DC buck de dos fases de alta velocidad adecuado para emplear en técnicas de linealización de amplificadores como ET (Envelope Tracking) o EER (Envelope Elimination and Restoration). El convertidor ha sido realizado con tecnología LDMOS y la técnica usada para controlarlo ha sido modulación PWM, creada mediante procesamiento digital y un generador de funciones. La potencia de salida es de hasta 125W de pico, con un rendimiento del 80%, un ancho de banda de hasta 2MHz y en las medidas de linealidad presenta una atenuación a los productos de intermodulación de tercer orden de más de 45 dBc.

10:15 – 10:30 Aproximación de Envolventes para Señales de Telecomunicación para ser usadas en Técnicas de Seguimiento de Envolvente

TCP4 – 2 Pablo F. Miaja (Universidad de Oviedo), Miguel Rodríguez, Aitor Vázquez, Alberto Rodríguez, Javier Sebastián

Resumen: El estudio de técnicas de aumento de rendimiento de Amplificadores de Potencia de Radio Frecuencia (RFPAs) es un tema de actualidad en el campo de la Electrónica de Potencia y de Telecomunicaciones. Este incremento puede lograrse mediante el uso de distintas técnicas como el Seguimiento de Envolvente (ET) o la Eliminación y Restauración de Envolvente (EER). Estas técnicas requieren el uso de convertidores CC/CC con la capacidad de cambiar su tensión de salida muy rápidamente, tales que sean capaces de reproducir la envolvente de la señal a amplificar por el RFPa. No obstante, el ancho de banda de estas envolventes es mucho mayor que el ancho de banda característico de los convertidores CC/CC. En este artículo se propone un método para calcular aproximaciones de las envolventes de RF de modo que estas aproximaciones tengan menor ancho de banda y por tanto puedan ser reproducidas por convertidores CC/CC.

10:30 – 10:45 Design methodology in multiphase buck converter based on minimum time control for high efficiency RF amplifiers

TCP4 – 3 P. M. Cheng (Universidad Politécnica de Madrid), M. Vasic, Óscar García, J. A. Oliver, P. Alou, J. A. Cobos

Resumen: This paper proposes an interleaved multiphase buck converter with minimum time control strategy for envelope amplifiers in high efficiency RF power amplifiers. The solution of the envelope amplifier is to combine the proposed converter with a linear regulator in series. High system efficiency can be obtained through modulating the supply voltage of the envelope amplifier with the fast output voltage variation of the converter working with several particular duty cycles that achieve total ripple cancellation. The transient model for minimum time control is explained, and the calculation of transient times that are pre-calculated and inserted into a look-up table is presented. The filter design trade-off that limits capability of envelope modulation is also discussed. The experimental results verify the fast voltage transient obtained with a 4-phase buck prototype.

10:45 – 11:00 High Efficiency Envelope Tracking Buck Converter for RF PA using GaN HEMTs

TCP4 – 4 D. Cucak (Universidad Politécnica de Madrid), M. Vasic, Óscar García, J. A. Oliver, P. Alou, J. A. Cobos

Resumen: In this paper, application of a new technological solution for power switches based on Gallium Nitride and a filter design methodology for high efficiency Envelope Amplifier in RF transmitters are proposed. Comparing to Si MOSFETs, GaN HEMTs can provide higher efficiency of the Envelope Amplifier, due to better Figure Of Merit (lower product of on- resistance and gate charge). Benefits of their application were verified through the experimental results. The goal of the filter design is to generate the envelope reference with the minimum possible distortion and to improve the efficiency of the Amplifier, obtaining the optimum trade-off between conduction and switching losses.

NOTAS:

Amplificador de envolvente de señales de RF basado en el convertidor buck multifase

Moisés Patiño-Gómez, David Tena-Ramos, Francisco Javier Ortega-González, José Manuel Pardo-Martín y Cesar Benavente-Peces.

Universidad Politécnica de Madrid, Grupo de Ingeniería de Radio, EUITT de Telecomunicación,
Carretera de Valencia Km. 7, 28031, Madrid, España.

Abstract— En este trabajo se presenta un convertidor DC-DC buck de dos fases de alta velocidad adecuado para emplear en técnicas de linealización de amplificadores como ET (Envelope Tracking) o EER (Envelope Elimination and Restoration). El convertidor ha sido realizado con tecnología LDMOS y la técnica usada para controlarlo ha sido modulación PWM, creada mediante procesamiento digital y un generador de funciones. La potencia de salida es de hasta 125W de pico, con un rendimiento del 80%, un ancho de banda de hasta 2MHz y en las medidas de linealidad presenta una atenuación a los productos de intermodulación de tercer orden de más de 45 dBc.

Index Terms— Conversión de potencia DC-DC, Envelope Elimination and Restoration, Envelope Tracking.

I. INTRODUCCIÓN

EN los últimos años, los sistemas de comunicación modernos utilizan modulaciones con envolvente variable. Para amplificar estas señales es necesario hacer uso de los amplificadores lineales como las clases A o B. Sin embargo, estas técnicas tienen el inconveniente de que consiguen eficiencias muy bajas y conviene conseguir amplificadores de alto rendimiento para reducir el consumo de potencia y minimizar la disipación de calor en los dispositivos.

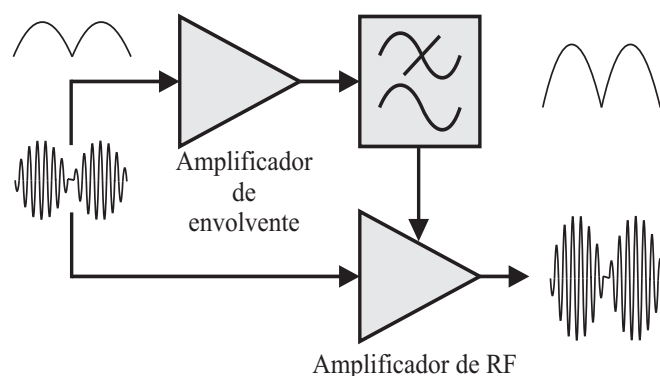


Fig. 1. Arquitectura usada para las técnicas de amplificación ET y EER.

Para conseguir aumentar el rendimiento se usan técnicas como la EER (Envelope Elimination and Restoration) [1, 2] o ET (Envelope Tracking) [3, 4]. Estas técnicas consisten en combinar dos amplificadores (figura 1), uno que amplifique la parte de RF de la señal y otro la envolvente por separado.

En este caso el trabajo se ha centrado en realizar el

amplificador que compone la rama de envolvente del sistema, y que alimentará al amplificador de potencia de RF. Existen varias topologías a la hora de diseñar amplificadores para este tipo de aplicación [5, 6, 7], pero entre ellas se ha escogido un convertidor buck multifase debido a su simplicidad para poder trabajar en alta frecuencia de conmutación.

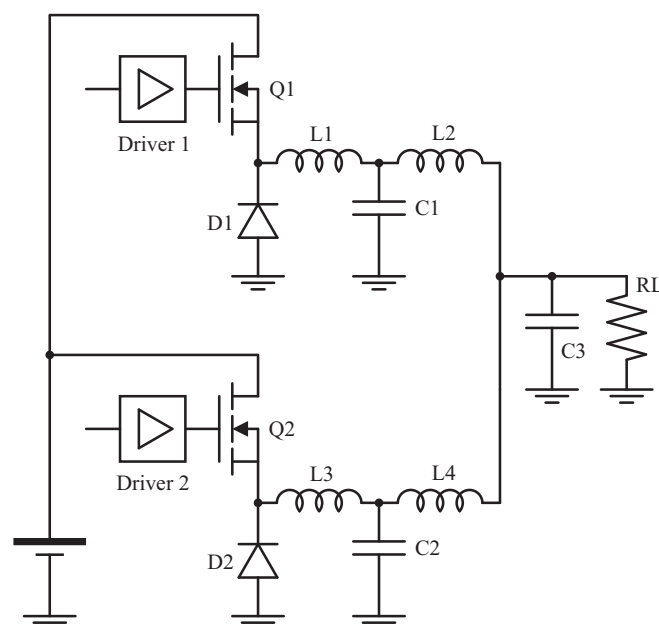


Fig. 2. Esquema del convertidor buck de dos fases implementado.

II. CONVERTIDOR BUCK MULTIFASE

La topología empleada en el convertidor diseñado es la que se muestra en la figura 2. Se ha escogido este diseño porque esta configuración multifase permite reducir el rizado de la señal a la salida, mejorar por lo tanto la calidad de la envolvente amplificada y conseguir aumentar el ancho de banda de la señal amplificada.

A. Elementos de conmutación de potencia

Los elementos semiconductores que componen la etapa de potencia son dos diodos schottky (DFLS1100) y dos transistores de RF LDMOS (PD55008). Se han usado este tipo de transistores porque tienen unos tiempos de subida y bajada muy rápidos, y esto permite reducir las pérdidas ocasionadas

por la conmutación de los transistores a altas frecuencias de trabajo.

Hay que tener en cuenta que la resistencia en conducción de los LDMOS es más elevada que la de los MOSFET de conmutación convencionales. Pero las pérdidas que produce ésta se compensan debido a que la velocidad de transición es más alta y las capacidades parásitas menores. Además se pueden reproducir pulsos con una anchura mínima de 8ns. Todo esto permite aumentar de forma considerable la frecuencia de conmutación sin aumentar demasiado las pérdidas provocadas, por un lado en el transistor y por otro en el driver de control de puerta, que al tener una capacidad menor requiere menos energía.

B. Driver de control de puerta de MOSFET

Esta etapa es una de las que más dificultades presenta debido a que es necesario hacer conmutar un MOSFET con tensión de fuente flotante, y aún se complica más cuando la frecuencia de conmutación es elevada como en este caso que son 10MHz. Por ello en este caso se ha optado por un driver aislado mediante transformador, además se usan elementos resistivos para descargar la capacidad de puerta del MOSFET. En un principio usar resistencias que disipen potencia no sería lo más adecuado, pero la potencia que consume esta etapa es bastante pequeña con respecto a la de conmutación de de salida, por lo tanto esto no afecta demasiado al rendimiento del convertidor permitiendo subir la frecuencia de conmutación debido a la simplicidad y pocos componentes discretos que presenta el circuito de control de puerta.

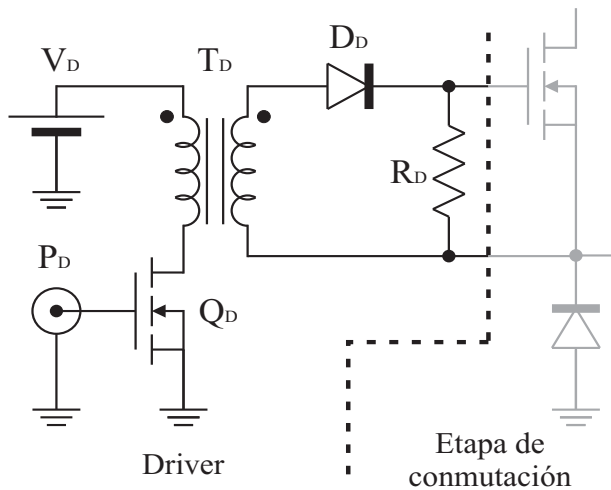


Fig. 3. Esquema eléctrico del driver de control de puerta empleado.

En la figura 3 se muestra el circuito de driver empleado. El transistor Q_D es un LDMOS de RF (PD84002) con bajas capacidades parásitas y altos tiempos de conmutación. El control de este transistor lo realiza la señal PWM. Para descargar del condensador de puerta del MOSFET de potencia se usa R_D y el diodo D_D evita que se generen tensiones negativas en la puerta del MOSFET. El transformador T_D aísla los dos circuitos y la energía almacenada en el ciclo trabajo del mismo es descargada gracias a que las pérdidas en el

núcleo del transformador son elevadas debido a las altas frecuencias de trabajo [8]. El diseño de este transformador es un punto clave para el que circuito funcione adecuadamente y consiga reproducir pulsos lo suficientemente estrechos. Por lo que es necesario reducir los elementos parásitos lo máximo posible. Con este fin se ha empleado el transformador de línea de transmisión cargado con ferrita mostrado en la figura 4.

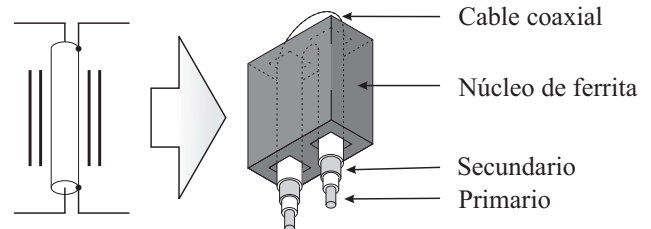


Fig. 4. Diagrama esquemático e ilustración del transformador empleado en el driver.

C. Filtro Paso Bajo

En una configuración multifase la frecuencia aparente de muestreo a la salida se multiplica por el número de fases por lo que se puede aumentar la frecuencia de corte del filtro.

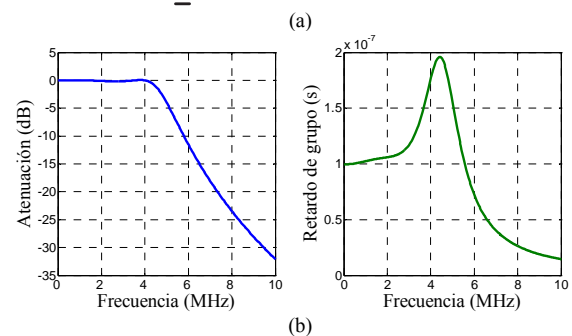
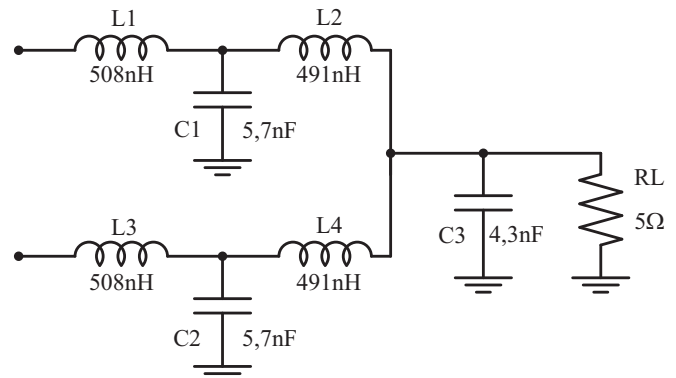


Fig. 5. Filtro paso bajo (a) y respuesta en frecuencia en amplitud y en fase (b).

El filtro paso bajo empleado en cada fase del circuito ha sido diseñado para que tenga una frecuencia de corte de 4MHz. En la figura 5 se muestra el filtro paso bajo usado y la respuesta en frecuencia del mismo. No se puede sobrepasar esta frecuencia de corte porque la frecuencia de conmutación es de 10 MHz y con una frecuencia de corte superior pasaría demasiado ruido de la modulación PWM situado en torno a la frecuencia de conmutación.

Para diseñar el filtro se ha tratado cada fase por separado, pero en la carga se ha colocado un valor el doble mayor de la resistencia usada a la hora de calcular, ya que por cada fase circula la mitad de la corriente.

D. Generación del PWM

Cada una de las fases del convertidor está controlada por una modulación de anchura de pulso (PWM). Esta señal de control se ha generado mediante Matlab. Para ello se han usado dos señales triangulares desfasadas 180° y de comparar la señal de referencia con cada una de ellas, se han obtenido las señales PWM para cada una de las dos fases del convertidor (figura 6).

Para inyectar estas señales en el prototipo se han cargado en las generadas mediante Matlab el generador de funciones arbitrarias 81150A de Agilent y se han ajustado con el desfase adecuado en cada uno de los dos canales del generador.

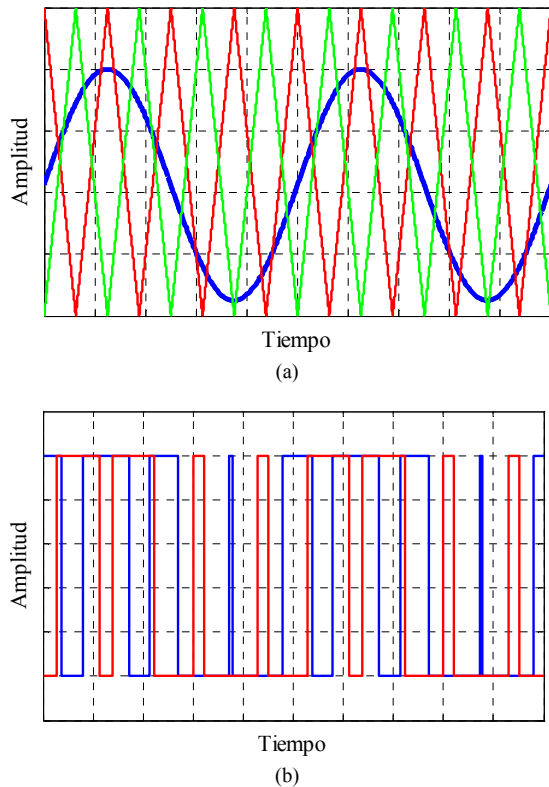


Fig. 6. Señales de referencia (azul) y triangulares de comparación (rojo y verde) en (a) y señales PWM generadas para cada fase (b).

III. SIMULACIONES

Se han realizado simulaciones usando PSPICE que permitirían conocer el comportamiento aproximado que tendría el convertidor una vez implementado. Para ello se ha usado un conmutador para simular al transistor y se le han agregado los elementos parásitos en forma de bobinas y condensadores. Las señales PWM son las mismas que las usadas en las medidas reales, ya que se han tomado los ficheros generados por Matlab y se ha utilizado en el PSPICE.

Las primeras gráficas (figura 7) corresponden a una señal

sinusoidal con una frecuencia de 2MHz. Pero en una de ellas se ha usado un convertidor con una única fase y en el otro caso se han utilizado las dos fases del convertidor. En la figura 8 se ha repetido lo mismo pero con un tono de 500kHz.

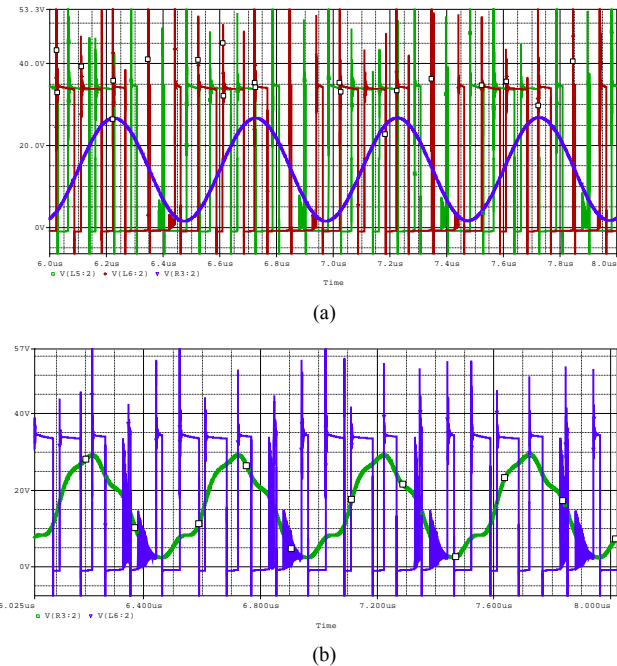


Fig. 7. Simulación del convertidor con un tono de 2 MHz con multifase (a) y monofase (b). En (a), en verde y rojo las señales PWM antes del filtro y la salida filtrada en azul. En (b) la señal antes del filtro en azul y la salida filtrada en verde.

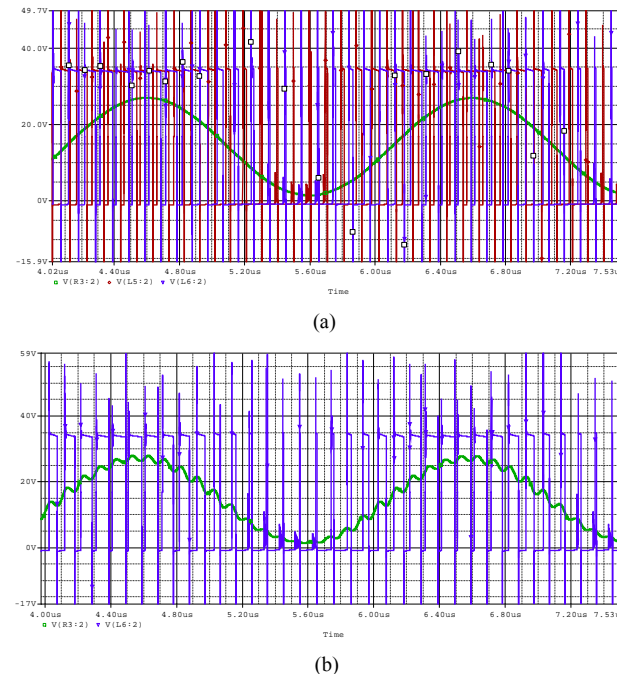


Fig. 8. Simulación del convertidor con un tono de 500 kHz con multifase (a) y monofase (b). En (a), en verde y rojo las señales PWM antes del filtro y la salida filtrada en azul. En (b) la señal antes del filtro en azul y la salida filtrada en verde.

IV. RESULTADOS EXPERIMENTALES

Se ha montado el prototipo (figura 9), y se han realizado una serie de medidas que permiten caracterizar el comportamiento del mismo.

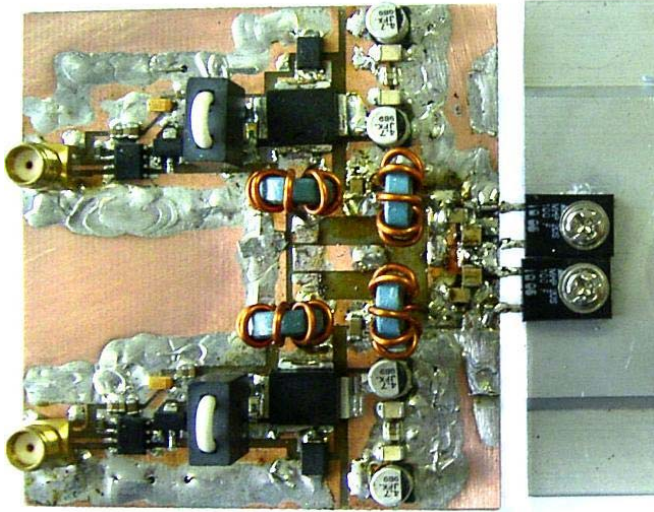


Fig. 9. Imagen del prototipo de amplificador de envolvente realizado.

A. Medidas en el Tiempo

Para comprobar la linealidad y el correcto funcionamiento del convertidor se ha realizado la prueba de los dos tonos con una señal formada por dos sinusoides de 2 y 2,05 MHz. En las capturas de las figuras 10 y 11 se puede ver el comportamiento del prototipo con una sola fase o usando las dos fases. Además se ha realizado una prueba con la envolvente de una modulación OFDM (con configuración multifase) que se puede ver en la figura 12.

B. Medidas en el Espectro

También se ha visualizado en el analizador de espectros (figura 13) la señal formada por los dos tonos. De esta forma se pueden observar los productos de intermodulación creados y por lo tanto medir la linealidad del convertidor implementado. De igual forma que en el caso anterior se han realizado pruebas con el convertidor en configuración monofase y multifase.

C. Medidas de rendimiento

Se ha obtenido el rendimiento del convertidor. Para ello se ha tenido en cuenta la potencia entregada a la carga, la consumida de la fuente de alimentación por los transistores que forman la topología buck multifase y la consumida por los driver que gobiernan la puerta de los transistores. En la tabla I se ven los resultados para tonos de diferentes frecuencias y diferentes niveles de amplitud. Se puede apreciar como el rendimiento no depende de la frecuencia de la señal de envolvente amplificada como cabría esperar. Sin embargo si depende de la tensión de la señal reproducida pero tampoco demasiado ya que la velocidad de conmutación de los MOSFET es muy elevada y por lo tanto la potencia disipada debido a esto es muy baja.

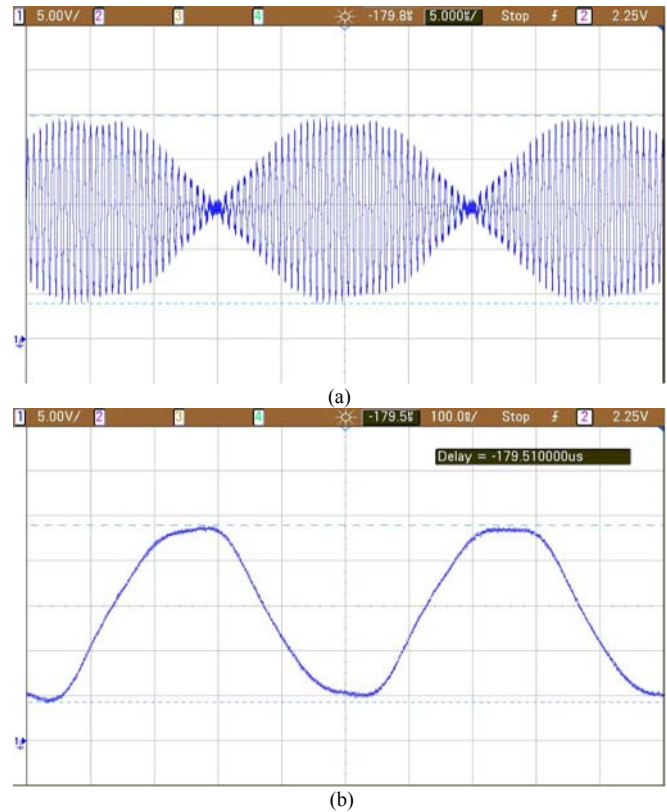


Fig. 10. Visualización de la prueba de los dos tonos en el dominio del tiempo usando el convertidor en configuración monofase para una frecuencia de 2 y 2,05MHz. Señal completa (a) y ampliación del lóbulo central (b).

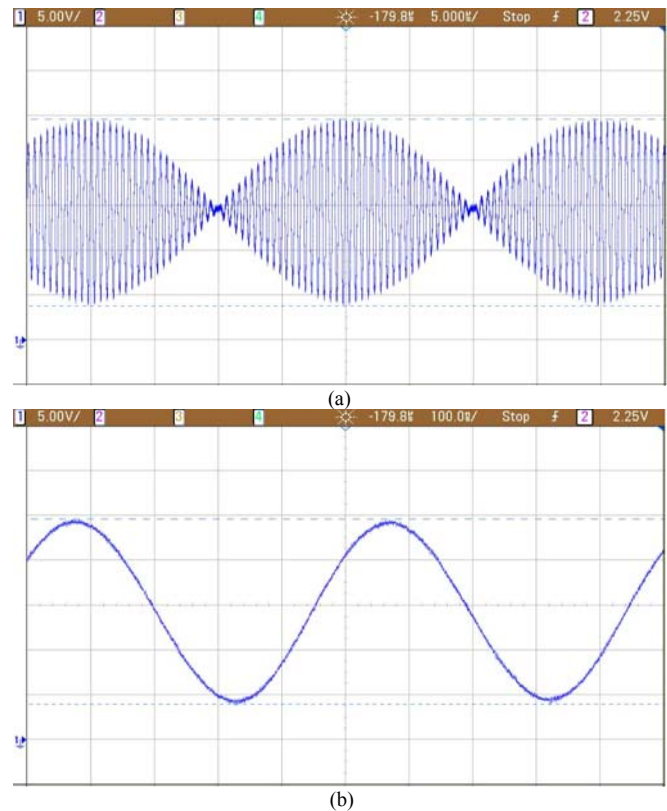


Fig. 11. Visualización de la prueba de los dos tonos en el dominio del tiempo usando el convertidor en configuración multifase para una frecuencia de 2 y 2,05MHz. Señal completa (a) y ampliación del lóbulo central (b).



Fig. 12. Señal amplificada (arriba) y señal de referencia (abajo) de una envolvente de una modulación OFDM.

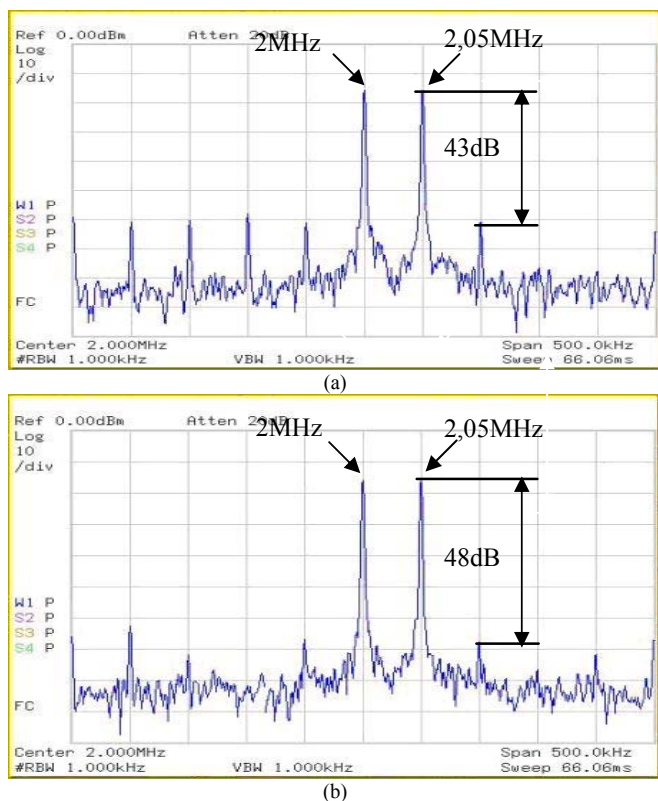


Fig. 13. Visualización de la prueba de los dos tonos en el espectro usando el convertidor en configuración monofase (a) y multifase (b).

TABLA I

RENDIMIENTO DEL CONVERTIDOR BUCK MULTIFASE

Tensión máxima (V)	Frecuencia (kHz)	Rendimiento (%)
10	100	71,5
	500	71,2
	2000	70,9
18	100	81,7
	500	81,0
	2000	80,9
25	100	81,6
	500	83,4
	2000	83,0

V. CONCLUSIÓN

En este documento se ha mostrado un convertidor buck multifase con el fin de amplificar una señal de envolvente de un sistema EER o ET. Mediante la observación de los resultados se comprueba que se ha conseguido un rendimiento superior al 80% para niveles de excursiones altos en la tensión de la carga, un rechazo de más de 45 dB en los productos de intermodulación de tercer orden, un ancho de banda de 2MHz y una potencia de salida de 125W de pico sobre 5Ω. Estos resultados permiten ser optimistas en cuanto al posterior funcionamiento de este dispositivo integrado en un transmisor de RF.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo constituye parte de los resultados del proyecto de investigación financiado por el Ministerio de Educación y Ciencia con referencia TEC2009-14307-C02-02 y también de TECMUSA: PSS-370000-2009-45/46/47.

REFERENCIAS

- [1] L.R.Kahn, "Single-sideband Transmission by Envelope Elimination and Restoration", IEEE Proc. of the IRE, Vol. 40, No. 7, July 1952.
- [2] A.Gimeno, "Linearization of High Efficiency Amplifiers by Means of Envelope Elimination and Restoration (EER)", Ph. D. Thesis, Radio Engineering Group (GIRA), UPM, Madrid, Spain, 2009.
- [3] P.B.Kenington, "High-Linearity RF Amplifier Design", Artech House, London 2000.
- [4] S. C. Cripps, "Advanced Techniques in RF Power Amplifier Design", Artech House, 2002.
- [5] M.Vasić, O. Garcia, J. A. Oliver, P. Alou, D. Diaz, J. A. Cobos, "Multilevel Power Supply for High Efficiency RF Amplifier", Proc. of the 24th Annual IEEE Applied Power Electronics Conference, APEC '09, February 2009.
- [6] Rodriguez, M.; Miaja, P. F.; Rodriguez, A.; Sebastian, J.; "A Multiple-Input Digitally-Controlled Buck Converter for Envelope Tracking Applications in Radiofrequency Power Amplifiers" IEEE Transactions on Power Electronics, vol.25, no.2, pp.1078-1089, Feb. 2010.
- [7] V. Yousefzadeh, E. Alarcon, D. Maksimovic, "Three-level buck converter for envelope tracking in RF power amplifiers" IEEE Trans. on Power Electronics, Volume:21, Issue: 2, March 2006, Pages:549 – 552
- [8] Jia Junlin, Wang Haiqun, Liu Weigang, "The core loss of high-frequency coaxial winding transformers" Electrical Machines and Systems, 2003. ICEMS 2003. Sixth International Conference on.